

## 破壊におけるサイズ分布と速度分布

京大理 中村昭子、藤原 顕

## 1. はじめに

惑星や小惑星は、多くの衝突過程をへて現在にいたっている。惑星系の形成と進化において、天体や塵のあいだの直接衝突が、それにともなう集積、破壊、化学変化などをふくめ、大きなやくわりをはたしてきたのはまちがいない。そこで、素過程としてのマクロ物質どうしの衝突を理解するため、秒速数キロから数百メートルの高速固体粒子をセンチメートルサイズの固体標的に衝突させるという実験が行われている。また、実験室スケールでの現象を天体スケールでの現象に適用するための研究も行われている (Fujiwara *et al.* 1989)。破片のサイズ分布は、さまざまな実験条件のもとでデータが得られてきている。いっぽう、破片の速度や自転などの力学的側面は、たとえば小惑星の族の観測結果について議論されているが、こうした量の分布は、実験的には最近になって調べられるようになった。

## 2. サイズ分布

図1は、玄武岩標的を種々の実験条件下で破壊したときの破片のサイズ(質量)分布である (Mizutani *et al.* 1990)。サイズ分布は、ひとつのべき乗則ではあらわされない。この図のように三領域にわける場合、最も小さな質量域では実験条件によらず、おなじべき乗則がなりたつ: 破片の質量を  $m$  として個数密度を  $n(m)$  とすると、 $n(m) \propto m^{-5/3}$  である。他の二つの質量域では、衝突が激しくなるほど傾きが急になることが定量的にいえる。

## 3. 速度分布

破片の速度分布は、(1) 天体の重力圏を脱出する質量を決めるが、これは、天体の集積のタイムスケールを左右する (2) 衝突破壊におけるエネルギーと運動量の分配を反映している、という重要性をもつ。そこで、つぎのような実験をおこなった (Nakamura and Fujiwara 1991)。

実験と解析 二段式軽ガス銃で直径 7mm、質量 0.21gのナイロン球を  $3\sim 4 \text{ kms}^{-1}$  に加速し、真空層内に設置された直径 6cm の標的球に入射角  $30^\circ$  (正面衝突を  $0^\circ$  とする) で衝突させた。標的物質には玄武岩とアルミナをもちいた。破壊のようすは、6000コマ毎秒の高速カメラで弾道に垂直な二方向から撮影した。破片は回収してそれぞれ質量 (5mg ~ 100g) を測定したのち、フィルム上の破片像と対応させやすくするため、もとの標的のかたちに組み立てた。回収率は、質量比で約 99% であった。画像処理装置をもちいて、各コマ、各破片の位置とサイズを測った。各破片の二次元速度と初期位置は、破片像の重心位置の時間変化から最小二乗法により決定した。破片像と回収後の破片とで対応がつけられるものについて、サイズと実際の質量の関係式を求め、質量のわからない破片像に適用した。いくつかの破片については、三次元速度がもとめられた。

結果 個々の破片の質量に対して二次元速度  $v_2$  をとってみると  $v_2 \leq m^{-\alpha}$  ( $\alpha \leq 1/4$ ) とかけた。三次元速度  $v_3$  の分布も  $v_3 \propto m^{-\alpha}$  ( $\alpha \sim 1/6$ ) であって矛盾しない (図2)。両標的物質について  $v_3(m) \propto m^{-\alpha}$ ,  $\alpha \sim 1/6$  が成り立つ。した

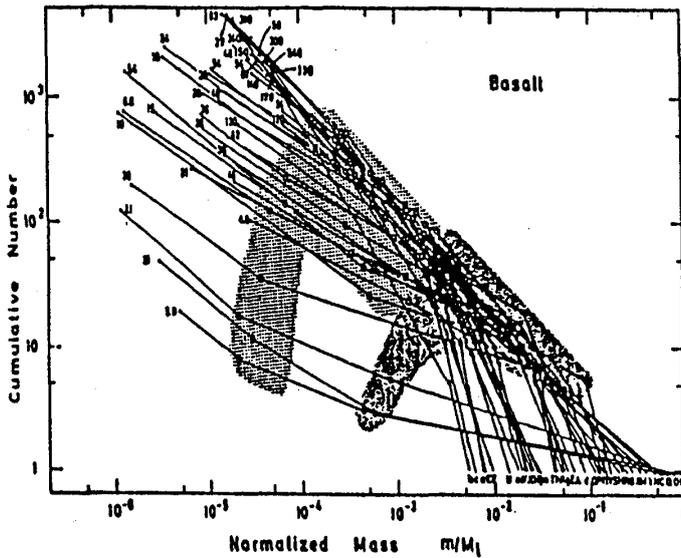


図1. 種々の実験条件のもとでの玄武岩破片のサイズ分布

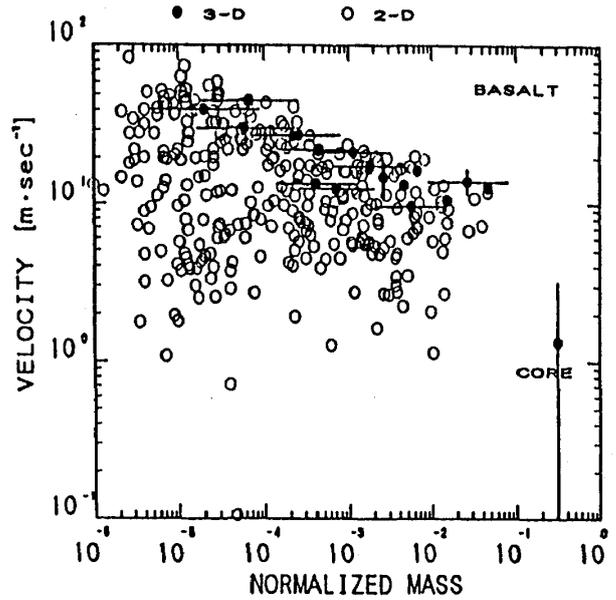


図2. 玄武岩破片の速度分布

がって、破片の並進運動エネルギーは、表面積に比例するといえる。すなわち、新しい表面をつくるエネルギーとその破片の運動エネルギーとの比が、破片の質量によらず一定である。また、速度  $10^2 \text{ ms}^{-1}$  未満の破片の全並進運動エネルギーは、全エネルギーのおよそ 1~2% にすぎないことがわかった。

速度は、破片の初期位置によってきまるとの見かたもある。標的物質の違いは、衝突点の反対側にあらわれ、アルミナでは周囲と比較して小さな破片が高速で飛び出したのに対し、玄武岩では大きめの破片がまわりと同じぐらいの速度をもっていた。標的物質によるこうした違いが、どのような物質定数によるのかは今回の実験からはわからない。実験結果をもとに速度場を構成し、(角)運動量がどのように分配されたかを考察した。その結果、大部分が衝突点付近の細かい高速(今回の実験方法では、追跡できなかった)破片に分配されたことが示された。

以上により、質量の割合としては、2~3%の衝突点付近からの破片が、エネルギー、(角)運動量とも大部分を担っていることが結論された。

#### 4. おわりに

衝突破壊における運動学的諸量を、いろいろな実験条件においてもとめることが、現在の実験的中心課題である。

#### 参考文献

- Fujiwara, A. et al. 1989. Experiments and scaling laws for catastrophic collisions. In *Asteroids II*, ed. R. P. Binzel et al. (Tucson: Univ. of Arizona Press), pp. 240-265.
- Mizutani, H., Takagi, Y. and Kawakami S. 1990. New scaling laws on impact fragmentation. *Icarus* 87, 307-326.
- Nakamura, A. and Fujiwara, A. 1991. Velocity distribution of fragments formed in simulated collisional disruption. *Icarus*, in press.